ANALES

DE LA

SOCIEDAD CIENTIFICA

ARGENTINA

DIRECTOR: ALBERTO G. URCELAY

NOVIEMBRE-DICIEMBRE 1953 — ENTREGAS V y VI — TOMO CLVI

SUMARIO

Pág.

EZIO LORENZELLI. — Fenómenos acústicos, ópticos o térmicos inducidos sobre un plano por la presencia de una superficie continua cualquiera que refleja un punto fuente de energía sonora o electromagnética 69

SECCIÓN CONFERENCIAS:

MALCOM DOLE. — El origen del oxígeno de la atmósfera y su composición isotópica (*Conclusión*) 88

BUENOS AIRES
AVDA. SANTA FE 1145

1953

COMMONWEALTH MYCOLOGICAL INSTITUTE
7 JUL 1954

SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

SOCIOS HONORARIOS

Dr. Bernardo A. Houssay
Dr. Alberto Einstein
Dr. Pedro Visca †
Dr. Mario Isola †
Dr. Germán Burmeister †
Dr. Benjamín A. Gould †
Dr. R. A. Phillippi †
Dr. Guillermo Rawson †
Dr. Carlos Berg †
Dr. Valentín Balbín †
Dr. Florentino Ameghino †
Dr. Carlos Darwin †
Dr. César Lombroso †
Ing. Luis A. Huergo †
Ing. Vicente Castro †
Dr. Juan J. J. Kyle †
Dr. Estanislao S. Zeballos †
Ing. Santiago E. Barabino †
Dr. Carlos Spegazzini †
Dr. J. Mendizábal Tamborel †
Dr. Walter Nernst †
Dr. Cristóbal M. Hicken †
Dr. Angel Gallardo †
Dr. Eduardo L. Holmberg †
Ing. Guillermo Marconi †
Ing. Eduardo Huergo †
Dr. Enrique Ferri †

CONSEJO CIENTIFICO

Ing. José Babini; Dr. Horacio Damianovich; Prof. Carlos E. Dieulefait; Dr. Gustavo A. Fester; Dr. Joaquín Frenguelli; Dr. Josué Gollan (h.); Dr. Bernardo A. Houssay; Dr. R. Armando Marotta; Ing. Agr. Lorenzo R. Parodi; Vicealmirante Segundo R. Storni; Dr. Alfredo Sordelli; Dr. Reinaldo Vanossi.

JUNTA DIRECTIVA

(1952 - 1953)

Presidente ..... Doctor Abel Sánchez Díaz
Vicepresidente 1º ..... Ingeniero Naval Edmundo Manera
Vicepresidente 2º ..... Ingeniero Pedro Mendioudo
Secretario de actas ....
Secretario de correspondencia. Agrimensor Antonio M. Saralegui
Tesorero ..... Ingeniero Enrique G. E. Clausen
Bibliotecario ..... Ingeniero Agrónomo Carlos A. Lizer y Trelles

Vocales .....
Doctor Alberto Castellanos
Doctor Pedro Cattaneo
Ingeniero Juan B. De Nardo
Capitán de Navío Emilio L. Díaz
Doctor Alberto González Domínguez
.....
Doctor Pablo Negroni
.....
Ingeniero Gastón Wunenburger

Suplentes .....
Ingeniero Ignacio Raver
Ingeniero Francisco M. Elizondo
Ingeniero Juan Esperne
Doctor Emilio L. González
Doctor Fernando Gorriti
Arquitecto Simón Lagunas

Revisores de balances anuales
Doctor Antonio Casacuberta
Arquitecto Carlos E. Géneau

ADVERTENCIA.— Los colaboradores de los Anales son personalmente responsables de la tesis sustentada en sus escritos. Tienen derecho a la corrección de dos pruebas. Los que deseen tirada aparte de 50 ejemplares de sus artículos, deben solicitarla por escrito. Artº 10 del Reglamento de los "ANALES" (modificado por la J. D. en su sesión de fecha 4 de septiembre 1941). Los escritos originales destinados a la Dirección de los "Anales", serán remitidos a la Gerencia de la Sociedad, avenida Santa Fe 1145, a los efectos de registrar la fecha de entrega para luego enviarlos al señor Director. La Sociedad no tomará en consideración las observaciones de los autores que se refieran a cualquier anormalidad, si no se ha cumplido con el requisito indicado.

Impreso en los Talleres Gráficos "TOMAS PALUMBO" - La Madrid 311-325 - Buenos Aires

FENOMENOS ACUSTICOS, OPTICOS O TERMICOS INDUCIDOS SOBRE UN PLANO POR LA PRESENCIA DE UNA SUPERFICIE CONTINUA CUALQUIERA QUE REFLEJA UN PUNTO FUENTE DE ENERGIA SONORA O ELECTROMAGNETICA

POR

EZIO LORENZELLI

INTRODUCCION

Establecer una relación matemática entre una superficie Σ_1 cualquiera, un punto fuente de energía S y la intensidad de energía reflejada por esta superficie Σ_1 sobre otra superficie Σ_2, es un problema general que se encuentra a menudo en la técnica moderna. En Termotécnica, p. e. planteando este problema se puede resolver el balance energético de los hornos a reverberación, se pueden proyectar los espejos de rendimiento máximo en las plantas de aprovechamiento de la energía solar, se dominan, en otras palabras, todos los fenómenos en los cuales se encuentra energía térmica de irradiación.

Las leyes de la óptica geométrica, según las cuales he resuelto dicho problema general, rigen, por lo que se refiere a la intensidad electrónica o fotónica reflejada (planteada en forma estadística y expresada según funciones ψ de probabilidad), también en la nueva mecánica ondulatoria: resulta, entonces, que las siguientes fórmulas tienen un valor muy general y pueden ser aplicadas también en la moderna física cuántica, electrónica o fotónica.

Además, el problema resuelto es el problema básico de la Arquitectura Acústica: Resolver en forma general y exacta el problema antedicho significa resolver por fin en forma segura el problema acústico de cualquier sala moderna a sonido dirigido; y ello equivale, entonces, a sacar esta nueva ciencia de la fase auroral de las

búsquedas desordenadas actuales para ponerla sobre bases matemáticas y técnicas bien definidas.

En efecto, el estudio acústico de las salas, ha sido realizado hasta ahora (por lo que se refiere a la distribución de la intensidad sonora reflejada por sus paredes y bóvedas sobre el público) en forma bastante empírica: o limitándose a consideraciones aproximadas con el uso de modelos o con el estudio (ilusorio y muy peligroso) de cortes planos de la sala en proyecto.

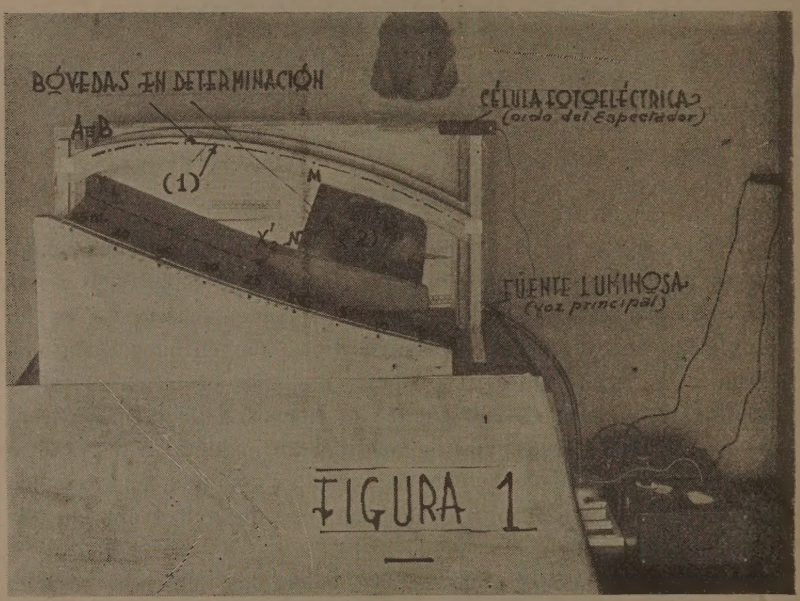


FIGURA 1

Son muy conocidos, por los técnicos, los trabajos ingleses, japoneses, norteamericanos y rusos sobre este importante tema. Desde el 1926, cuando Davis planteó el primer modelo acústico a dos dimensiones para el estudio de salas (A. Davis, Ripple Tank Wawes, Proc. Phys. Soc. N. 8 - 1926), se desarrollaron (siempre para resolver en forma empírica el problema que hoy presentamos definido matemáticamente) los estudios básicos de Satow. T. (Acoustical Analisis of Auditorium by Optical Treatment in Models — Journ. Waseda Univ. Japon— 1930-17), los de C. Glower, de V. O. Knudsen, de H. L. Kirke, de A. B. Howe, K. W. Wagner, de

A. Gigli y de muchos otros, planteando analogías ópticas en modelos rellenados de humo (especialmente para localizar las « cáusticas » de las superficies reflejantes), por medio de ondas de presión producidas en los modelos, con el uso de ultrasonidos, etc.

Una forma sencilla y muy exacta para resolver empíricamente el viejo problema fué presentada por mí en el año 1937, construyendo el modelo de la sala en estudio con chapas de aluminio reflectoras de luz, diversamente ahumadas según el distinto coeficiente de absorción acústica previsto en las varias paredes y bóvedas de la sala y representando después el « oído del espectador ». (en la semejanza óptico-acústica así realizada) por una célula fotoeléctrica móvil. La fuente sonora es sustituída en el modelo (en su posición que puede ser también móvil) por una lamparita puntiforme especial.

La fig. 1 representa la realización de esta planta experimental mientras el autor estudiaba las características acústicas de las paredes laterales de un gran teatro a sonido dirigido, isopotencial, proyectado y realizado por él mismo, en Turín, según este sistema (*).

En el tomo CXLVII, Feb. de 1949, pág. 84-92, de los Anales de la Sociedad Científica Argentina (Acústica teatral y cinematográfica transformable) he subrayado brevemente la importancia práctica de este problema básico de la Acústica moderna, y no creo necesario repetir aquí aquellos conceptos; quiero solamente advertir que las distintas realizaciones teatrales, desde 1600 hasta hoy, por razones sociales, económicas y artísticas, significan una aproximación cada vez mayor de la técnica acústica hacia la solución integral del gran « Teatro del Pueblo » a sonido enteramente dirigido y controlado, isopotencial y, por lo tanto, de máximo rendimiento. En efecto, hacia esta solución ideal convergen los estudios acústicos actuales, especialmente norteamericanos y rusos; ahora bien, para llegar con seguridad a este resultado es necesario resolver, antes, el problema óptico-acústico de la superficie lisa con-

(*) Ver citas en: « Enciclopedia Italiana », Vol. 1, Apéndice N° 2, pág. 613; en mis notas: E. L., « Sulla determinazione di superficie liscie riflettenti per Sale d'Audizione », etc.; « Il Politécnico », N° 6, 1937; y en E. L.: « Metodo per progettare e verificare sperimentalmente forme sonore razionali per Teatri moderni », « L'Architettura Italiana », año XXXVII, Nos. 7-8-9, 19142, y en el tomo A. Cassi Ramelli: « Edifici per gli spettacoli », Ed. Vallardi, a pag. 73: « Metodo Grafico-analitico del Lorenzelli ».

tinua, justamente en la forma matemática general, enunciada al comienzo de esta Nota.

Empezaré estableciendo una correspondencia entre los puntos $P \equiv (x, y, z)$ de una superficie cualquiera Σ_1 (derivable) $z = z(x, y)$ y los puntos de una superficie plana Σ_2 (X, Y) en forma tal que los puntos $S' \equiv (X, Y)$ de Σ_2 son las imágenes del punto origen $S \equiv (0, 0, 0)$ (fuente) que es reflejado por la superficie Σ_1 desde sus puntos $P \equiv (x, y, z)$ (fig. 2).

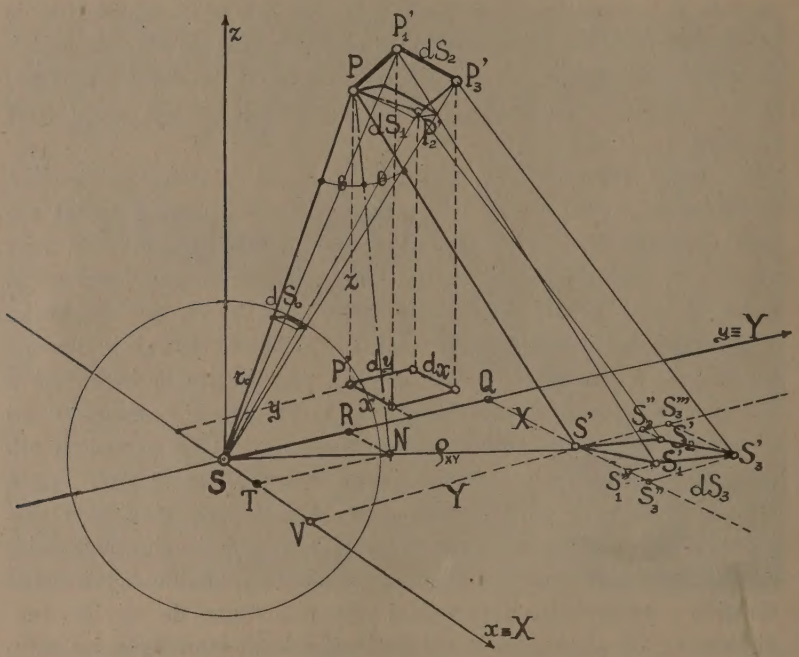


Fig. 2.

Es muy fácil constatar que las coordenadas sobre el plano Σ_2 de la intersección N con Σ_2 de la normal a la superficie Σ_1 (desde el punto $P \equiv (x, y, z)$, son:

$$RN = x + z\frac{\partial z}{\partial x}, \qquad TN = y + z\frac{\partial z}{\partial y}. \qquad [1]$$

Si es SP el rayo que pasa por S y encuentra en $P \equiv (x, y, z)$ a la superficie Σ_1 y PS' el rayo reflejado cuya intersección con Σ_2 es el punto $S' \equiv (X, Y)$, resulta:

$$SN = \sqrt{\left(x + z\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(y + z\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}$$

$$SP = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \qquad [2]$$

$$PN = z\sqrt{1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}$$

Si hacemos $\widehat{SPN} = \widehat{NPS}$, es también (fig. 2):

$$\frac{NS'}{NS} = \frac{PN^2}{PS^2 - SN^2} = \frac{TV}{ST} = \frac{RQ}{SR} \qquad [3]$$

o sea:

$$\frac{SV}{ST} = \frac{PN^2 + PS^2 - SN^2}{PS^2 - SN^2}\,,$$

$$\frac{SQ}{SR} = \frac{PN^2 + PS^2 - SN^2}{PS^2 - SN^2}\,; \qquad [4]$$

y, siendo

$$ST = RN;\ SR = TN;\ SV = QS';\ SQ = S'Q\,,$$

tenemos:

$$QS' = RN\,\frac{PN^2 + PS^2 - SN^2}{PS^2 - SN^2}\,,$$

$$VS' = TN\,\frac{PN^2 + PS^2 - SN^2}{PS^2 - SN^2}\,. \qquad [5]$$

Ahora bien, QS' y $S'V$ son justamente las coordenadas requeridas X e Y del punto S', imagen sobre el plano $XY \equiv xy$ del punto de origen S, reflejado por la superficie Σ_1. Sustituyendo los valores de SN, SP y PN calculados en las [2] resulta:

$$PN^2 + PS^2 - SN^2 = 2z^2\left(1 - \frac{x}{z}\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{y}{z}\frac{\partial x}{\partial y}\right),$$

$$PS^2 - SN^2 = z^2\left\{2\left(1 - \frac{x}{z}\frac{\partial z}{\partial x} - \frac{y}{z}\frac{\partial z}{\partial x}\right) - \right. \qquad [6]$$

$$\left. - \left[1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2\right]\right\};$$

y, teniendo presentes las [1] y [5], se llega finalmente a las importantes relaciones:

$$\left\{\begin{array}{l} X = \dfrac{x + z\dfrac{\partial z}{\partial x}}{1 - \dfrac{1 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)^2}{2\left(1 - \dfrac{x}{z}\dfrac{\partial z}{\partial x} - \dfrac{y}{z}\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)}} \\ \\ Y = \dfrac{y + z\dfrac{\partial z}{\partial y}}{1 - \dfrac{1 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\dfrac{\partial z}{\partial x}\right)^2}{2\left(1 - \dfrac{x}{z}\dfrac{\partial z}{\partial x} - \dfrac{y}{z}\dfrac{\partial z}{\partial y}\right)}} \end{array}\right. \qquad [7]$$

Estas fórmulas establecen la correspondencia buscada entre los puntos X, Y del plano Σ_2 y los puntos, x, y, z que desde la superficie Σ_1: $z = z\,(x, y)$ reflejan sobre este plano Σ_2 (en los puntos X, Y) la imagen de la fuente S situada en el origen de coordenadas. En otras palabras: los puntos $S' \equiv (X, Y)$ del plano coordenado Σ_2 son todos imágenes del punto de origen $S \equiv (0, 0, 0)$ de este plano, fuente sonora o electromagnética, reflejadas por la superficie continua $z = z\,(x, y)$. Cada punto $P \equiv (x, y, z)$ de esta superficie continua corresponde a un punto $S' \equiv (X, Y)$ del plano de las imágenes Σ_2 y la correspondencia entre las coordenadas de P en Σ_1 y de S' en Σ_2 está definida por las [7].

En conclusión, las fórmulas [7] nos suministran en la forma más general, la posibilidad de determinar exactamente la influencia óptica, térmica o acústica de una superficie reflectora cualquiera Σ_1 sobre un plano receptor Σ_2 en el cual está el punto-fuente sonoro o electromagnético.

Esta posibilidad es, sin embargo, una mera posibilidad mientras no se pueda calcular directamente el valor de intensidad reflejada (sonora o electromagnética) que las [7] definen sobre el plano Σ_2.

En la parte siguiente de esta nota calcularé esta intensidad reflejada.

Consideremos (fig. 2) un rayo cualquiera que desde S corta la superficie Σ_1 en $P \equiv (x, y, z)$ y se refleja sobre Σ_2 en $S' \equiv (X, Y)$. Tracemos desde P la normal sobre el plano Σ_2 y desde este punto P' tomemos dos segmentos iguales paralelos a los semiejes positivos x, y $(dx = dy)$: estos segmentos definen un cuadrado de área dx^2 que es la proyección sobre el plano Σ_2 $(x, y) \equiv \Sigma_2$ (X, Y) de un área elemental dS_2 sobre la superficie Σ_1.

El valor de esta área elemental dS_2 es,

$$dS_2 = dx^2 \sqrt{1 + \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2} \qquad [8]$$

Por cada uno de los cuatro vértices de esta área elemental dS_2 pasa un rayo emitido por S y desde cada uno de estos cuatro vértices salen reflejados los mismos rayos, que cortan después al plano Σ_2: sobre este plano Σ_2, el elemento cuadrilátero dS_2 se refleja por lo tanto en otro elemento de área dS_3 (fig. 2). Uno de los vértices en Σ_2 es el punto S', imagen de S (por P) y de coordenadas X, Y.

Es muy fácil constatar que las coordenadas de los otros tres vértices del cuadrilátero dS_3 (imagen del cuadrilátero dS_2 sobre la superficie Σ_1) valen (siendo $dx = dy$):

$$\begin{aligned}
S'\,S_1'' &= \frac{\partial X}{\partial x}\,dx, \\
S_1'S_1'' &= \frac{\partial Y}{\partial x}\,dx, \\
S'\,S_2'' &= \frac{\partial Y}{\partial y}\,dx, \\
S_2'S_2'' &= \frac{\partial X}{\partial y}\,dx, \\
S'\,S_3'' &= \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial X}{\partial y}\right)dx, \\
S_3'S_3'' &= \left(\frac{\partial Y}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y}\right)dx.
\end{aligned} \qquad [9]$$

Resulta entonces el valor del área dS_3:

$$dS_3 = \left(\frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial Y}{\partial y} - \frac{\partial X}{\partial y}\frac{\partial Y}{\partial x}\right)dx^2. \qquad [10]$$

Si es 2θ el ángulo $\widehat{SPS'}$, el valor del área elemental dS_1, proyección del área $dS_2 = dx^2\sqrt{1+\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}$ sobre una esfera Σ_3 que pasa por P con centro en S (y radio $r = \sqrt{x^2+y^2+z^2}$) es:

$$dS_1 = \cos\theta\sqrt{1+\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}.dx^2, \qquad [11]$$

y fácilmente se calcula, considerando el triángulo SPN:

$$\cos\theta = \frac{z\left(1-\frac{x}{z}\frac{\partial z}{\partial x}-\frac{y}{z}\frac{\partial z}{\partial y}\right)}{\sqrt{(x^2+y^2+z^2)\left[1+\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2\right]}}. \qquad [12]$$

Por lo tanto:

$$dS_1 = \frac{z - x\frac{\partial z}{\partial x} - y\frac{\partial z}{\partial x}}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}}dx^2. \qquad [13]$$

Ahora bien, si la fuente S emite su energía uniformemente distribuída sobre superficies esféricas concéntricas y si es Q la cantidad total de energía emitida en la unidad de tiempo, entonces sobre una esfera de radio r_0 la intensidad energética será:

$$i_0 = \frac{Q}{4\pi r_0^2}. \qquad [14]$$

Resulta enseguida que la intensidad energética sobre la esfera Σ_3 antes considerada (que pasa por P) vale:

$$i_3 = \frac{Q}{4\pi(x^2+y^2+z^2)} = \frac{i_0 r_0^2}{x^2+y^2+z^2}; \qquad [15]]$$

y la cantidad de energía que se encuentra sobre la superficie elemental (sobre esta esfera) es:

$$dq_1 = i_3 dS_1 \qquad [16$$

Sustituyendo los valores [13] y [15] en la [16] calculamos esta cantidad de energía:

$$dq_1 = i_0 r_0^2 \frac{z - x\frac{\partial z}{\partial x} - y\frac{\partial z}{\partial y}}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}} dx^2. \qquad [17]$$

Ahora bien, esta es también la cantidad de energía que incide sobre el elemento dS_2 de la superficie Σ_1. Si es φ el coeficiente de reflexión (óptica, térmica o acústica) de la superficie reflectora Σ_1, la cantidad de energía que saldrá reflejada de dS_2 será entonces:

$$dq_2 = \varphi\, i_0 r_0^2 \frac{z - x\frac{\partial z}{\partial x} - y\frac{\partial z}{\partial y}}{(x^2+y^2+z^2)^{3/2}} dx^2. \qquad [18]$$

Esta cantidad de energía se distribuirá sobre la superficie elemental dS_3 y resulta que la intensidad reflejada por la superficie Σ_1 en el punto S' del plano Σ_2 es:

$$i = \frac{dq_2}{dS_3}. \qquad [19]$$

Sustituyendo los valores [10] y [18] en la [19] se calcula, en conclusión, el valor de la intensidad reflejada en S' por Σ_1:

$$\boxed{\frac{i}{i_0} = \frac{\varphi r_0^2 \left(z - x\frac{\partial z}{\partial x} - y\frac{\partial z}{\partial y}\right)}{\left(\frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial Y}{\partial y} - \frac{\partial X}{\partial y}\frac{\partial Y}{\partial x}\right)(x^2+y^2+z^2)^{3/2}}} \qquad [20]$$

Como es: $z = z(x, y)$ y, según las [7], $X = X(x, y)$; $Y = Y(x, y)$ (todas funciones conocidas) resulta (por la [20]) $\frac{i}{i_0} = \frac{i}{i_0}(x, y)$ o, también, $\frac{i}{i_0} = \frac{i}{i_0}(X, Y)$.

Las tres relaciones [7] y [20], resuelven, pues, en forma explícita y general el problema de determinar la intensidad (óptica, térmica o acústica) reflejada sobre un plano Σ_2 por una superficie lisa (continua) Σ_1 cualquiera.

APLICACIONES

Queremos estudiar, p. ej., la acústica de un elipsoide definido por la ecuación:

$$\alpha x^2 + \beta y^2 + \gamma z^2 = 1, \qquad [21]$$

y determinar la intensidad sonora reflejada por esta superficie sobre el plano principal $z = 0$, suponiendo que la fuente sonora está en el origen $S \equiv (0,0,0)$. Resulta enseguida:

$$\frac{\partial z}{\partial x} = -\frac{\alpha x}{\gamma z} \qquad \frac{\partial z}{\partial y} = -\frac{\beta y}{\gamma z}, \qquad [22]$$

$$\begin{cases} X = \dfrac{2\gamma_1 x}{\gamma + \alpha\gamma_1 x^2 + \beta\gamma_2 y^2}, \\ Y = \dfrac{2\gamma_2 y}{\gamma + \alpha\gamma_1 x^2 + \beta\gamma_2 y^2}, \end{cases} \qquad [23]$$

siendo

$$\gamma_1 = \gamma - \alpha \quad , \quad \gamma_2 = \gamma - \beta. \qquad [24]$$

Se verifica, además, la relación

$$\frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial Y}{\partial y} - \frac{\partial X}{\partial y}\frac{\partial Y}{\partial x} = 4\gamma_1\gamma_2 \frac{\gamma^2 - (\alpha\gamma_1 x^2 + \beta\gamma_2 y^2)^2}{[\gamma + \alpha\gamma_1 x^2 + \beta\gamma_2 y^2]^4} \qquad [25]$$

Combinando las [23] con la [25], y poniendo por brevedad

$$\xi = \frac{\gamma}{\gamma_1}\frac{X}{x} \qquad [26]$$

tenemos el valor:

$$\frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial Y}{\partial y} - \frac{\partial X}{\partial y}\frac{\partial Y}{\partial x} = \frac{\gamma_1\gamma_2}{\gamma^2}\xi^2(\xi - 1). \qquad [27]$$

Se verifica también la relación

$$z - x\frac{\partial z}{\partial x} - y\frac{\partial z}{\partial y} = \frac{1}{\gamma z}. \qquad [28]$$

Por otra parte, en virtud de la [26] y las [23], poniendo por brevedad:

$$\zeta = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}\frac{Y}{X} = \frac{y}{x} \qquad [29]$$

$$A_1 = \frac{\gamma}{\gamma_2}\frac{\frac{\alpha}{\beta}+\zeta^2}{\frac{\alpha\gamma_1}{\beta\gamma_2}+\zeta^2} \qquad [30]$$

resulta de [28]

$$\frac{1}{z\gamma} = \gamma^{-1/2}\left[\xi(A_1+1)-2A_1\right]^{-1/2}\xi^{1/2}. \qquad [31]$$

Análogamente, el valor de $(x^2+y^2+z^2)^{3/2}$ en función de los parámetros elegidos es:

$$(x^2+y^2+z^2)^{3/2} = \gamma^{-3/2}\left[\xi(1-A_2)+2A_2\right]^{3/2}\xi^{-3/2}, \qquad [32]$$

habiendo puesto

$$A_2 = \frac{\gamma}{\beta}\frac{\frac{\gamma_1}{\gamma_2}+\zeta^2}{\frac{\alpha\gamma_1}{\beta\gamma_2}+\zeta^2} \qquad [33]$$

Sustituyendo los valores [27], [31] y [32] en la fórmula general [20] se obtiene enseguida:

$$\frac{i}{i_0} = \frac{\varphi\frac{\gamma^3 r_0^2}{\gamma_1\gamma_2}}{(\xi-1)\left[\xi(1+A_1)-2A_1\right]^{1/2}\left[\xi(1-A_2)+2A_2\right]^{3/2}} \qquad [34]$$

que es la intensidad reflejada por el elipsoide sobre el plano Σ_2.

Poniendo luego

$$\rho_{XY} = \sqrt{X^2+Y^2} \qquad [35]$$

teniendo en cuenta las [23] y la [26], y escribiendo

$$A_0 = \sqrt{\frac{\gamma_2}{\beta\gamma}\frac{\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right)^2+\zeta^2}{\frac{\alpha\gamma_1}{\beta\gamma_2}+\zeta^2}} \qquad [36]$$

se calcula el valor de ρ_{XY} (distancia del punto XY sobre el plano Σ_2 de la fuente S (origen)):

$$\rho_{XY} = A_0 \sqrt{\xi (2 - \xi)} \qquad [37]$$

Las ocho fórmulas [24], [26], [29], [30], [33], [34], [36] y [37] resuelven el problema general de la acústica de un elipsoide cualquiera.

En efecto, conocidos los valores α, β, γ que definen el elipsoide, calculados con las [24] los valores γ_1 y γ_2 se establece una serie de parámetros ζ variables entre 0 y ∞. Cada uno de estos parámetros ζ_0 define, por la [29] un radio del elipsoide sobre el plazo $z = 0$ y define, además, los coeficientes A_0, A_1 y A_2 [36], [30] y [33].

Se establece, luego, para cada ζ_0 una serie de parámetros ξ, variables entre los límites:

$$\frac{2 A_1}{1 + A_1} \leq \xi \leq 2 \qquad [38]$$

$\left(\text{siendo siempre } \dfrac{2 A_2}{A_2 - 1} > 2\right)$.

y se calcula, con estos valores de ξ (y para cada parámetro ζ_0) según las [34] y [37] los valores de $\dfrac{i}{i_0}$ y de ρ_{XY}, siendo ya conocido el valor $\dfrac{Y}{X} = \dfrac{\gamma_2}{\gamma_1} \zeta_0$.

Se determina fácilmente, en esta forma, para cada punto XY del plano Σ_2 (definido por las [29] y [37]) el valor de la intensidad relativa $\dfrac{i}{i_0}$ reflejada sobre Σ_2 por el elipsoide considerado.

Los puntos de igual intensidad sobre el plano XY determinan las curvas isofónicas (o isofotónicas o isotérmicas) inducidas en el plano $z = 0$ por elipsoide Σ_1.

Por $\xi = \dfrac{2 A_1}{1 + A_1}$ resulta $\dfrac{i}{i_0} = \infty$ y al variar de ζ se determina la «isofónica cáustica» que es la línea según la cual el plano $z = 0$ es tangente a la superficie cáustica del elipsoide considerado.

La ecuación polar de la isofónica cáustica del elipsoide está determinada por las relaciones

$$\rho_{XY} = \frac{2 A_0 \sqrt{A_1}}{1 + A_1} \qquad \frac{Y}{X} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \zeta \qquad [39]$$

II) Si es $\alpha = \beta$, el elipsoide se transforma en un elipsoide de rotación y las isofónicas se transforman en circunferencias. En efecto, en este caso, según las [24] es también $\gamma_1 = \gamma_2$ y resulta:

$$\zeta = \frac{Y}{X} = \frac{y}{x} \qquad A_{10} = \frac{\gamma}{\gamma_1} \qquad A_{20} = \frac{\gamma}{\alpha} \qquad [40]\ [41]\ [42]$$

$$\begin{cases} \dfrac{i}{i_0} = \dfrac{\varphi \dfrac{\gamma^3}{{\gamma_1}^2} {r_0}^2}{(\xi - 1)\,[\xi\,(1 + A_{10}) - 2\,A_{10}]^{1/2}\,[\xi\,(1 - A_{20}) + 2\,A_{20}]^{3/2}} & [43] \\ \rho_{XY} = \sqrt{\dfrac{\gamma_1}{\alpha\gamma}}\,\sqrt{\xi\,(2 - \xi)} & [44] \end{cases}$$

y, entonces, por ξ = const. es ρ_{XY} = const. (circunferencia) y $\dfrac{i}{i_0}$ = const. (isofónica).

La isofónica cáustica, en este caso, es una circunferencia de radio

$$\rho_{XY} = \frac{\gamma - \alpha}{\gamma - \dfrac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{1}{\alpha}}\,, \qquad [45]$$

y es la isofónica de radio máximo. Es fácil comprobar que las relaciones [39] y [45] definen en el plano $z = 0$ isofónicas cáusticas internas al elipsoide y, como todas las otras isofónicas son interiores a las cáusticas, existe en el plano XY entre la isofónica cáustica y el elipsoide una « faja de silencio » a la cual no llega algún rayo reflejado.

III) Si es $\alpha = \beta = \gamma$ el elipsoide se transforma en una esfera y es:

$$\zeta = \frac{Y}{X} = \frac{y}{x} \quad A_{10} = \infty,\ A_{20} = 1, \quad \rho_{XY} = 0, \quad \frac{i}{i_0} = \infty\,;$$

quiere decir que todas las isofónicas se transformarán en un « punto cáustico » (origen y centro de la esfera) al cual vuelven todos los rayos reflejados. La faja del silencio ocupa, entonces, todos los otros puntos del plano XY.

IV) Si es $\alpha = \beta = 0 \quad \gamma = \gamma_1 = \gamma_2$ el elipsoide se transforma en dos planos paralelos al plano Σ_2 a distancia $z = \pm c$ de éste. En este caso resulta, por las [23] y [26]:

$$X = 2x \quad Y = 2y \quad \xi = 2$$

y las [27] y [28] dan los valores

$$\begin{cases} \dfrac{\partial X}{\partial x}\dfrac{\partial Y}{\partial y} - \dfrac{\partial X}{\partial y}\dfrac{\partial Y}{\partial x} = +4, \\ z - x\dfrac{\partial z}{\partial x} - y\dfrac{\partial z}{\partial y} = C, \\ x^2 + y^2 + z^2 = C^2 + \dfrac{X^2 + Y^2}{4}. \end{cases} \qquad [46]$$

Resultando de la [20]:

$$\frac{i}{i_0} = \frac{2\varphi r_0^2 c}{(4c^2 + X^2 + Y^2)^{3/2}}. \qquad [47]$$

Las isofónicas son las circunferencias

$$\rho_{XY} = \sqrt{\left(\frac{2\varphi r_0^2 c\, i_0}{i}\right)^{1/3} - 4c^2}. \qquad [48]$$

Falta la isofónica cáustica y la « faja de silencio » y hay un máximo de intensidad por $\rho_{XY} = 0$ (origen) que tiene el valor:

$$i_{mx} = \varphi \frac{i_0 r_0^2}{4c^2}. \qquad [49]$$

V) Es muy fácil comprobar que si la superficie Σ_1 es un plano cualquiera:

$$z = ax + by + c, \qquad [50]$$

resulta:

$$\frac{\partial X}{\partial x}\frac{\partial Y}{\partial y} - \frac{\partial X}{\partial y}\frac{\partial Y}{\partial x} = 4\omega\left(1 + a\frac{X}{2c} + b\frac{Y}{2c}\right), \qquad [51]$$

$$z - x\frac{\partial z}{\partial x} - y\frac{\partial z}{\partial y} = c; \qquad [52]$$

y:

$$x^2 + y^2 + z^2 = \frac{X^2 + Y^2 + \frac{4ac}{\omega} X + \frac{4bc}{\omega} Y + \frac{4c^2}{\omega}}{4\left(1 + a\frac{X}{2c} + b\frac{Y}{2c}\right)^2} \quad [53]$$

Poniendo por brevedad

$$\omega = 1 + a^2 + b^2 \quad [54]$$

La intensidad reflejada sobre el plano $z = 0$ es entonces:

$$\frac{i}{i_0} = \frac{2\frac{\varphi r_0^2 c}{\omega}}{\left(X^2 + Y^2 + \frac{4ac}{\omega} X + \frac{4bc}{\omega} Y + \frac{4c^2}{\omega}\right)^{3/2}} \quad [55]$$

y la ecuación de las isofónicas es:

$$X^2 + Y^2 + \frac{4ac}{\omega} X + \frac{4bc}{\omega} Y + \left[\frac{4c^2}{\omega} - \left(\frac{2\varphi c r_0^2 i_0}{\omega i}\right)^{2/3}\right] = 0 \quad [56]$$

Se trata, como es evidente, de circunferencias concéntricas de centro

$$X_c = -\frac{2ac}{\omega}, \quad Y_c = -\frac{2bc}{\omega}. \quad [57]$$

y de radio :

$$\rho_{XY} = \sqrt{\left(\frac{2\varphi c r_0^2 i_0}{\omega i}\right)^{2/3} - \frac{4c^2}{\omega^2}} \quad [58]$$

Falta siempre la isofónica cáustica y la « faja de silencio » y la intensidad máxima (pcr $\rho_{XY} = 0$) vale (en el centro: $X = -\frac{2ac}{\omega}$; $Y = -\frac{2bc}{\omega}$)

$$i_{mx} = \omega^2 \frac{\varphi r_0^2 i_0}{4c^2} \quad [59]$$

Para $a = b = 0$ (y, entonces, $\omega = 1$), las fórmulas generales [55] - [59] se reducen naturalmente a las [47] - [49], calculadas en el caso de degeneración del elipsoide.

EJEMPLOS NUMERICOS

a) Elipsoide definido por:

$$\frac{x^2}{5} + \frac{y^2}{2} + z^2 = 1 \qquad [21']$$

$$\alpha = 0{,}2 \quad \beta = 0{,}5 \quad \gamma = 1$$

$$\gamma_1 = 0{,}8 \quad \gamma_2 = 0{,}5 \qquad [24']$$

$$A_1 = 2{,}0\,\frac{0{,}40 + \xi^2}{0{,}64 + \zeta^2} \quad [36'] \qquad A_2 = 2{,}0\,\frac{1{,}60 + \zeta^2}{0{,}64 + \zeta^2} \quad [33']$$

$$A_0 = \sqrt{\frac{2{,}57 + \zeta^2}{0{,}64 + \zeta^2}} \quad [36']$$

$$\begin{cases} \dfrac{i}{i_0} = \dfrac{2{,}5\,\varphi\, r_0^2}{(\xi - 1)\sqrt{[\xi\,(1 + A_1) - 2A_1]\,[\xi\,(1 - A_2) + 2A_2]^3}} & [34'] \\ \rho_{XY} = A_0\sqrt{\xi\,(2 - \xi)} & [37'] \\ \zeta = 1{,}6\,\dfrac{Y}{X} \end{cases}$$

Hemos calculado los valores de $A_1\, A_2\, A_0$ y $\frac{Y}{X}$ para los cinco valores de $\zeta^2 = 0$; 0,4375; 2,57; 14,9; ∞ que definen según la [29'] los valores de $\omega = \text{artg}\,\frac{Y}{X} = 0°$; 22° 30'; 45°; 67° 30'; 90°, siendo, respectivamente:

$$A_1 = 1{,}25;\ 1{,}54;\ 1{,}85;\ 1{,}97;\ 2{,}00$$
$$A_2 = 5{,}00;\ 3{,}75;\ 2{,}60;\ 2{,}12;\ 2{,}00$$
$$A_0 = 2{,}00;\ 1{,}67;\ 1{,}265;\ 1{,}06;\ 1{,}00$$

Para cada uno de estos cinco casos hemos hecho variar el parámetro ξ desde 1.11; 1.21; 1.30; 1.325; 1.333, respectivamente, hasta 2, con los valores 1.2; 1.3; 1.4; 1.5; 1.6; 1.7; 1.8; 1.9; 2.00, calculando por estos valores ρ_{XY} y $\frac{i}{i_0}$.

Resultaron las curvas a(línea llena) de la fig. 3 $\left(\frac{i}{i_0}\right.$ en función de $\left.\rho_{XY}\right)$.

b) Hemos considerado, después, los dos elipsoides de rotación definidos por ecuaciones:

1) $\dfrac{x^2+y^2}{5}+z^2=1$ $\quad \alpha=\beta=0{,}2$, $\gamma_1=\gamma_2=0{,}8$, $\gamma=1$

2) $\dfrac{x^2+y^2}{2}+z^2=1$ $\quad \alpha=\beta=0{,}5$, $\gamma_1=\gamma_2=0{,}5$, $\gamma=1$

En forma perfectamente análoga hemos calculado las dos curvas b_1 y b_2 de la fig. 3 (punteadas). $\left(\dfrac{i}{i_0}=\dfrac{i}{i_0}(\rho_{XY})\right)$.

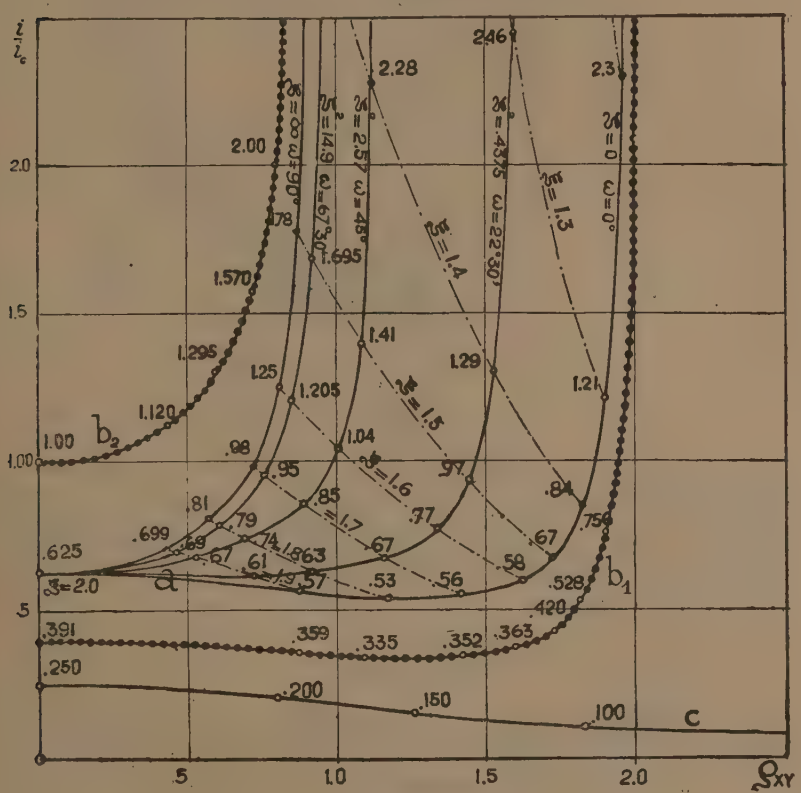


Fig. 3.

c) Empleando, después la [48] (plano reflector $z=c$ con $c=1$ se calculó la curva *c*) siempre de fig. 3.

Todas las intensidades reflejadas se calcularon para un coeficiente de reflexión $\varphi = 1$ y para un radio de referencia $r_0 = 1$.

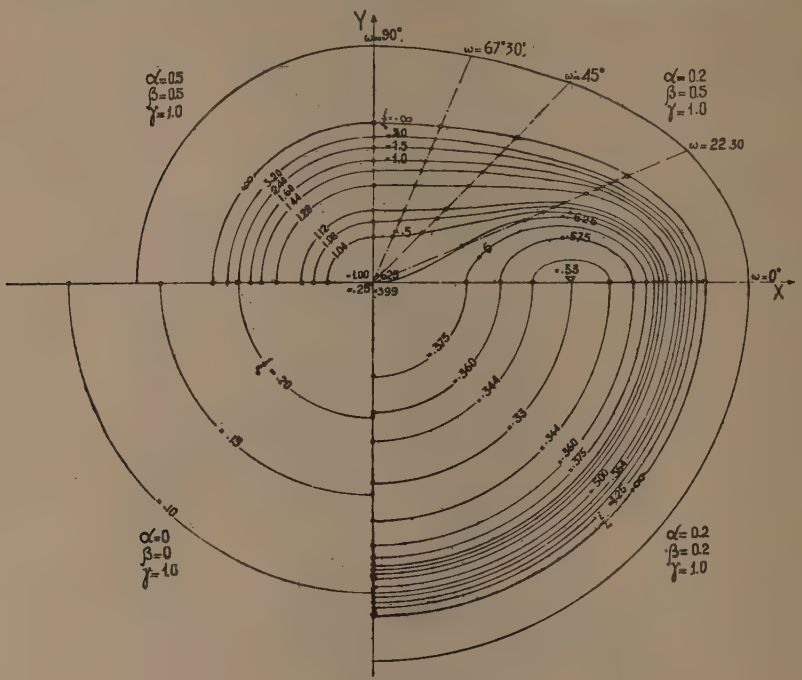


Fig. 4.

En la fig. 4, en fin, están dibujadas las isofónicas en los cuatro casos del elipsoide *a*), de los dos elipsoides de rotación b_1 y b_2 y del plano *c*). Es evidente la faja de silencio entre los tres elipsoides y las tres isofónicas cáusticas que resultan respectivamente sobre el plano Σ_2.

CONCLUSION

Los resultados expuestos demuestran que, fijada una superficie reflectora continua cualquiera Σ_1, un plano Σ_2 y una fuente de energía sonora o electromagnética S, es posible determinar sobre el plano Σ_1 las curvas isofónicas, isofotónicas (o isotérmicas) que la superficie Σ_1 origina sobre Σ_2. En particular es posible determinar las isofónicas o isofotónicas cáusticas, curvas que definen

la tangencia o la intersección de las superficies cáusticas de la superficie Σ_1, sobre el plano Σ_2. Asimismo se determinan exactamente las «fajas de silencio» (o de oscuridad) sobre el mismo plano Σ_2 y, en conclusión, se define en forma matemática todo el fenómeno acústico, óptico o térmico inducido sobre Σ_2 por la superficie Σ_1. Después de lo dicho en la Introducción es evidente la gran importancia práctica de los resultados generales obtenidos.

Buenos Aires, Agosto, 1952.

SECCIÓN CONFERENCIAS

EL ORIGEN DEL OXÍGENO DE LA ATMÓSFERA Y SU COMPOSICIÓN ISOTÓPICA

POR

MALCOM DOLE

Catedrático de Físico-Química
North Western Universidad. - Evanston, Illinois, EE. UU.

(*Conclusión* *)

V. Teoría termodinámica sobre la separación de los isótopos. — Ahora deseo discutir muy brevemente la teoría termodinámica sobre la separación de los isótopos, en otras palabras la separación de los isótopos cuando existen las condiciones del equilibrio, como en la reacción (1). Tenemos que dilucidar si la constante del equilibrio es igual a la unidad o no es igual. Desde el punto de vista de la teoría clásica de la físicoquímica, la constante del equilibrio sería igual a la unidad, porque no hay razones para pensar que los isótopos del oxígeno, como O^{17} y O^{18}, tendrían diferentes propiedades químicas. Pero desde el punto de vista de la estadística termodinámica es posible una constante del equilibrio mayor o menor que la unidad.

Sean K la constante del equilibrio, F la energía libre, R la constante molar de los gases y T la temperatura, entonces:

$$\Delta F^\circ = -RT \ln K \qquad [3]$$

donde ΔF° significa el incremento en la energía libre de la reacción cuando todos los compuestos están en el estado standard. Para un gas perfecto

$$F^\circ = -RT \ln \frac{Q^\circ}{N} \qquad [4]$$

donde Q° es la función de partición y N el número de Avogadro. La ecuación [4] es un resultado muy importante de la teoría de

* Ver Entrega anterior.

la estadística mecánica, pero en esta charla no es posible justificar esta ecuación. De las ecuaciones [3] y [4] se deduce que, en general:

$$K = \frac{\left(\frac{Q^\circ_C}{N}\right)^c \cdot \left(\frac{Q^\circ_D}{N}\right)^d}{\left(\frac{Q^\circ_A}{N}\right)^a \cdot \left(\frac{Q^\circ_B}{N}\right)^b} \qquad [5]$$

para el equilibrio

$$aA + bB \longrightarrow cD + dD \qquad [6]$$

Pero, en el caso de los equilibrios del intercambio de los isótopos, como en ecuación [1], la ecuación [5] se simplifica a

$$K = \left(\frac{Q^\circ_{A,2}}{Q^\circ_{A,1}}\right)^a \cdot \left(\frac{Q^\circ_{B,1}}{Q^\circ_{B,2}}\right)^b \qquad [7]$$

En general, para moléculas de dos átomos que se diferencian solamente en su composición isotópica como O_2^{16} y O_2^{18}

$$\frac{Q^\circ_2}{Q^\circ_1} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \cdot \frac{I_2}{I_1} \cdot \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{e^{-U_2/2}}{1 - e^{-U_2}} \cdot \frac{1 - e^{-U_1}}{e^{-U_1/2}} \qquad [8]$$

donde

σ = el número de simetría
I = el momento de inercia
M = el peso molecular
$U = hc\omega/RT$
c = velocidad de la luz
h = la constante de Planck
ω = la frecuencia de vibración en unidades de los números de ondas.
R = la constante de Boltzmann
$= \frac{R}{N}$
T = temperturaa en °K

Para moléculas de más de dos átomos, como H_2O^{16} y H_2O^{18}

$$\frac{Q_2^\circ}{Q_1^\circ} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \left(\frac{A_2 B_2 C_2}{A_1 B_1 C_1}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \pi_i \frac{e^{-U_2 i/2}}{1 - e^{-U_2 i}} \cdot \frac{1 - e^{-U_2 i}}{e^{-U_1 1/2}} \qquad [6]$$

donde A, B, C significan los tres momentos de inercia.

Según Urey ([10]), es posible simplificar estas ecuaciones; por ejemplo:

$$\ln \frac{Q_2}{Q_1} = \ln \frac{\sigma_1}{\sigma_2} + \sum_i \ln \frac{U_{2i}}{U_{1i}} + \sum \coth x_i \,.\, \delta_i \qquad [7]$$

donde

$$x_i = \frac{U_{1i} + U_{2i}}{4} \qquad [8]$$

$$\delta_i = \frac{U_{1i} - U_{2i}}{2} \qquad [9]$$

En ecuación [7] Q_2 y Q_1 no son los mismos que Q_2° y Q_1°, pero los liga una relación. En algunos casos es importante obtener que la constante de los equilibrios del intercambio de isótopos se pueda calcular mediante el solo conocimiento de las frecuencias de vibración, porque también

$$K = \left(\frac{Q_{A,2}}{Q_{A,1}}\right)^a \cdot \left(\frac{Q_{B,1}}{Q_{B,2}}\right)^b \qquad [10]$$

Para las moléculas de dos átomos,

$$\omega_2 = \omega_1 \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \qquad [11]$$

pero en el caso de las moléculas de muchos átomos, se necesita una relación mucho más complicada que [11] y diferente para varios compuestos. En la tabla IX se ilustran algunas frecuencias de vibración recogidas por Urey ([10]).

Tabla IX

Molécula	ω_1	ω_2	ω_3
H_2O^{16}	3825,32	1653,91	3935,59
H_2O^{18}	3815,5	1647,8	3919,4
CO_2^{16}	1351,20	672,20 (2)	2396,40
CO_2^{18}	1273,92	661,94 (2)	2359,81
O_2^{16}	1580,4		
O_2^{18}	1490,0		

Mediante las frecuencias de vibración de tabla IX, es posible calcular las constantes de los equilibrios del intercambio de isótopos de tabla X.

TABLA X. — *Algunas constantes de equilibrio para reacciones del intercambio de los isótopos de oxígeno*

Reacción	$K_{0°C}$
$2\,H_2O^{18}\,(g) + O_2^{16}\,(g) \rightleftharpoons 2\,H_2O^{16}\,(g) + O_2^{18}\,(g)$	1,017
$2\,H_2O^{18}\,(l) + O_2^{16}\,(g) \rightleftharpoons 2\,H_2O^{16}\,(l) + O_2^{18}\,(g)$	1,006
$2\,H_2O^{18}\,(g) + CO_2^{16}\,(g) \rightleftharpoons 2\,H_2O^{16}\,(g) + CO_2^{18}\,(g)$	1,055
$2\,H_2O^{18}\,(l) + CO_2^{16}\,(g) \rightleftharpoons 2\,H_2O^{16}\,(l) + CO_2^{18}\,(g)$	1,044
$^1/_3\,CaCO_3^{16} + H_2O^{18}\,(l) \rightleftharpoons {}^1/_3\,CaCO_3^{18} + H_2O^{16}\,(l)$	1,025

Los resultados experimentales han confirmado los valores de K de tabla X.

Noten, por favor, que en cada reacción la constante es mayor que la unidad, y podemos llegar a la conclusión que en los equilibrios del intercambio de los isótopos, el isótopo más pesado siempre se concentra en la molécula de peso más grande.

Dole y Jenks estudiaron la fotosíntesis del oxígeno, pero hicieron pasar anhidrido carbónico mezclado con nitrógeno, primero por agua para establecer el equilibrio isotópico, y luego por el vaso de la fotosíntesis, en lugar de usar carbonatos, hallando que el oxígeno liberado tenía la concentración del oxígeno 18 calculado para equilibrio, utilizando las ecuaciones de la estadística termodinámica. Como consecuencia del proceso de la fotosíntesis y del equilibrio isotópico, los isótopos del oxígeno de la atmósfera estarían en equilibrio con los isótopos del oxígeno del agua, pero no es éste el caso. Como ya hemos mencionado, descubrimos ([8]) que la proporción del oxígeno pesado en el aire, es 1.030 veces superior a la proporción del oxígeno pesado que hay en el agua del Lago Michigan de Chicago, ó 1.025 veces superior a la proporción del oxígeno dieciocho en el agua del Océano Atlántico.

El valor calculado para el equilibrio de los isótopos es 1.006.

Esta discrepancia constituye un problema importante de naturaleza que conviene resolver. En efecto, este hecho significa que en alguna parte de la superficie de la tierra, en la atmósfera, o los

océanos, hay procesos o reacciones que aumentan la proporción del oxígeno 18 en el oxígeno atmosférico.

Debe observarse que no se conoce ningún mecanismo por medio del cual el oxígeno pueda intercambiar sus isótopos con el agua, a una temperatura ordinaria. Tampoco se conocen catalizadores que puedan producir este intercambio. Esto explica por qué el oxígeno puede existir durante miles de años en contacto con el agua, sin dar lugar a un apreciable intercambio de isótopos.

VI. El peso atómico del oxígeno. — La diferencia en la composición isotópica significa que existe también una diferencia en el peso atómico del oxígeno, en el agua y en el oxígeno atmosférico. Por ejemplo, suponiendo que el peso atómico del oxígeno en el agua del Océano Atlántico sea 16,00000, exactamente, el peso atómico del oxígeno atmosférico sería 16.00012 y el del oxígeno de las rocas de carbonatos, 16.00015; evidentemente el peso atómico del oxígeno no es 16.00000 exactamente, y no tiene un significado preciso a menos que se especifique de dónde proviene el oxígeno.

Creemos que el aumento de O^{18} atmosférico puede producirse en las regiones altas de la atmósfera, en la estratosfera, porque mediante la radiación ultravioleta del sol, las moléculas de oxígeno, anhidrido carbónico y agua se disocian. Esto hace posible el intercambio de los isótopos de oxígeno a temperaturas normales. Estamos recogiendo ahora muestras del aire a diferentes elevaciones en la atmósfera y en diferentes partes del mundo para hacer análisis de isótopos, porque si nuestra hipótesis es correcta, se puede esperar que la relación O^{18}/O^{16} en oxígeno de la estratosfera sea mayor que la del oxígeno de la superficie de la tierra, pues este oxígeno se diluye continuamente con mezclas de oxígeno de menor O^{18}/O^{16} producidas por la fotosíntesis. Hay también la posibilidad que el oxígeno de la región ártica tenga una proporción de O^{18} superior a la proporción de O^{18} en el aire de la región tropical. En muchos casos la cantidad del oxígeno obtenido será muy poca. Por esa razón, no será posible usar el método de la medida de la densidad del agua. Se necesita un espectrómetro de masas.

VII. El espectrómetro de masas. — Gracias a refinamientos técnicos dedicados a los espectrómetros de masas, como resultado de los estudios dirigidos a la producción de la bomba atómica, la pre-

cisión de este instrumento ha sido aumentada hasta la de la exactitud de la medida de la densidad del agua. El principio nuevo, invención de Nier ([11]), se ilustra en la figura 6. Este principio se basa en medir simultáneamente los iones más pesados, como por ejemplo $(O^{16}O^{18})^+$ y los menos pesados y más abundantes iones, como los $(O^{16}O^{16})^+$.

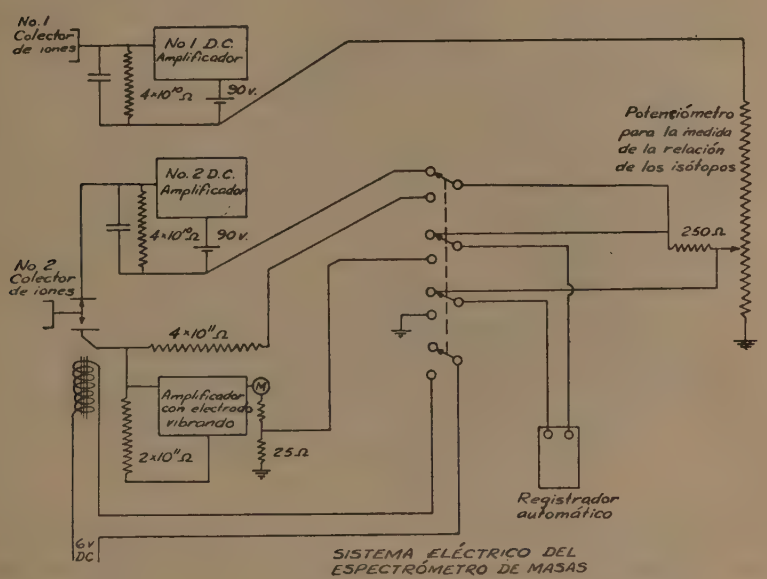


FIG. 6.

Estos dos rayos de iones causan caídas de tensión eléctricas en las resistencias eléctricas de 4×10^{10} ohms. Las dos caídas son eléctricamente opuestas y la diferencia en voltios puede medirse dando directamente la relación entre las cantidades de isótopos en el espectrómetro de masas. Hemos mejorado nuestro instrumento por la introducción de un amplificador eléctrico más estable o amplificador comercial, con un electrodo vibrante. También en nuestro instrumento hay un registrador automático y eléctrico que mide las desviaciones del galvanómetro. El galvanómetro no se ilustra en esta figura.

La figura 7 ilustra el nuevo sistema para la introducción de las muestras gaseosas, según Urey y colaboradores ([12]). El bulbo de

vidrio S_1 contiene la muestra para la medida y otro bulbo, S_2, contiene la muestra standard de oxígeno de un balón comercial. Ambos gases son introducidos individualmente en el pequeño bulbo R a una presión de veinticinco milímetros de mercurio.

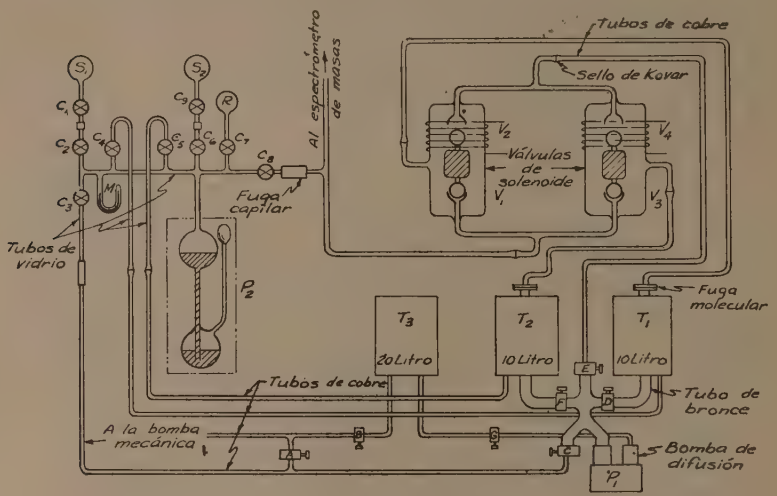


Fig. 7

Entonces el gas es introducido de nuevo desde el bulbo R a un vaso de bronce de capacidad de diez litros donde la presión del gas está cerca de cincuenta micrones. En la parte superior del vaso hay un pequeño hoyo donde la difusión del gas sigue la ley de Graham. Mediante el sistema de las válvulas que se animan por un campo magnético es posible pasar la muestra al espectrómetro de masas o el standard al espectrómetro. De este modo es posible comparar rápidamente (en el término de cinco minutos más o menos) los dos gases. Esta manipulación es muy importante porque los circuitos eléctricos pueden cambiar lentamente (un cambio del cero del galvanómetro). La sensibilidad se aumenta diez veces mediante este método de la manipulación.

Un ejemplo de los resultados obtenidos con este instrumento se ilustra en la figura 8 donde las secciones numeradas uno y siete representan el cero del galvanómetro, las secciones dos y cuatro representan las desviaciones del galvanómetro cuando el gas del vaso

número uno (el standard) está en el espectrómetro de masas y el potenciómetro tiene 0.03965 voltios. Las secciones tres y cinco representan las desviaciones del galvanómetro cuando el gas del vaso de bronce número dos (la muestra) está en el espectrómetro y el potenciómetro tiene 0.03940 y 0.03930 voltios, respectivamente. Es

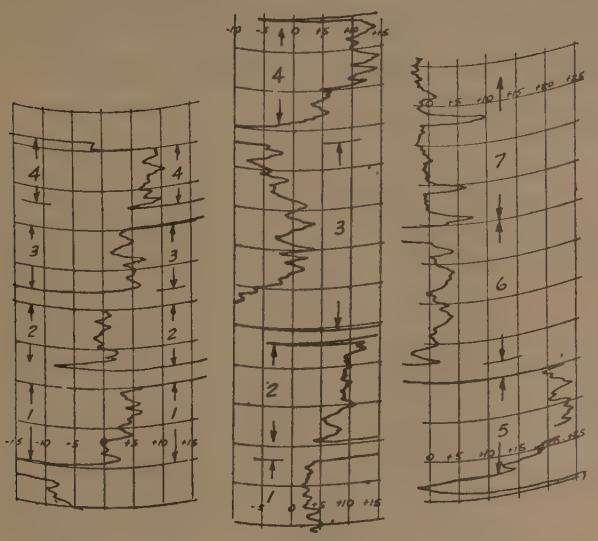


Fig. 8.

posible interpolar entre estos valores y determinar relativamente la relación de los isótopos 18 y 16 con una sensibilidad igual a un milésimo o más. Sin estas modificaciones la exactitud relativa del instrumento es de uno en doscientos.

Algunos ejemplos de los resultados se ilustran en la tabla XI.

Tabla XI. — *Composición isotópica del aire de varios orígenes*

Origen	% O^{18}	$\frac{(\%\ O^{18})}{\%\ O^{16}}$ Standard
Evanston, Illinois (Standard)	0,2039	1,0000
Sobre el océano Pacífico	,2036	0,9985
Lima, Perú	,2039	1,0000
Santiago, Chile	,2040	1,0005
Concepción, Chile	,2040	1,0005
Oxígeno fotosintético (Kelp y Algae)	,2008	0,9848

Una diferencia de 0.0001 en el tanto por ciento es solamente un poco más que el error experimental, y por consecuencia, no tiene ninguna significación.

VIII. Composición isotópica del aire disuelto en el Océano Pacífico. — Durante el año corriente estudiamos la composición isotópica del oxígeno del aire disuelto en el agua del Océano Pacífico, cerca de California, en profundidades hasta de dos mil sete-

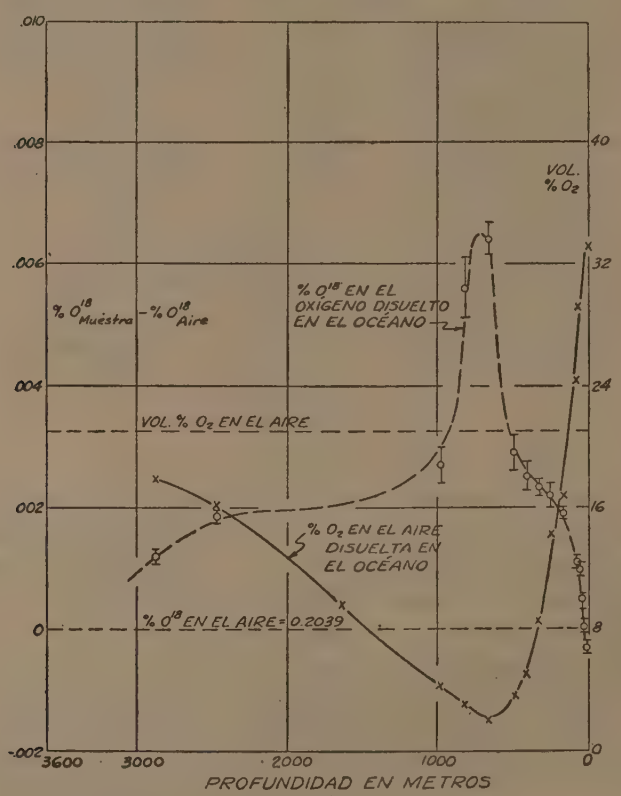


Fig. 9.

cientos metros desde la superficie del mar. Los resultados se ilustran en la figura 9 donde el eje horizontal representa los metros debajo de la superficie del mar en que el aire se recoge. El aire se ha obtenido por la evacuación de las muestras del agua recogidas

a estas profundidades. El lado derecho de dicha figura representa el tanto por ciento del oxígeno en el aire desprendido o liberado del agua. Cerca de la superficie el tanto por ciento del oxígeno es grande a causa de que la fotosíntesis en el agua produce oxígeno hasta llegar a la saturación, 33 % , pero como la luz no penetra en las profundidades ninguna fotisíntesis puede ocurrir. Los pescados,

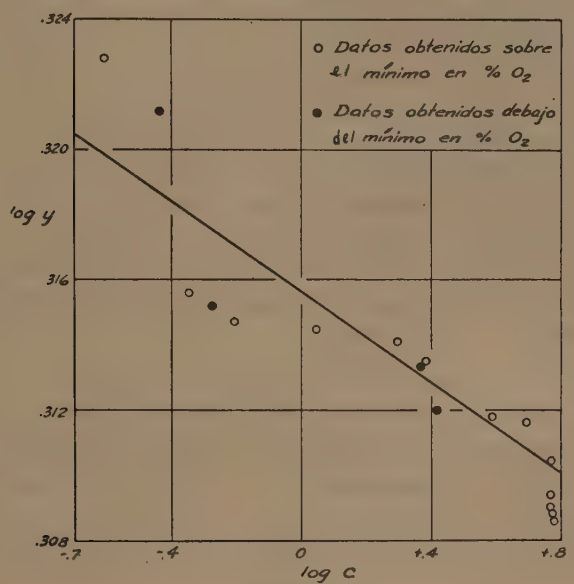


FIG. 10.

bacterias, plankton, etc., etc., consumen el oxígeno y el tanto por ciento disminuye hasta llegar a un dos por ciento. Cuando más profundo se penetra, se observa menos pescados, etc., y siendo ésta la razón por la cual el tanto por ciento del oxígeno aumenta de nuevo. En el lado izquierdo se representa el tanto por ciento del oxígeno dieciocho menos el tanto por ciento contenido en el aire. Estos valores demuestran que el tanto por ciento del oxígeno libre disuelto en el agua y el tanto por ciento del oxígeno dieciocho del aire en el agua son opuestos e inversos. Cuando el oxígeno libre disminuye, la abundancia relativa del oxígeno dieciocho aumenta y viceversa.

Estos hechos significan que hay mecanismos en la naturaleza que pueden fraccionar los isótopos del oxígeno. Además significan que

el fraccionamiento se lleva a cabo en una serie de procesos similares, porque la magnitud de la separación es muy grande para un solo proceso. Probablemente, los pescados, bacterias, plankton, etc., consumen el oxígeno dieciseis más rápidamente que el oxígeno dieciocho, y por lo tanto el tanto por ciento del oxígeno dieciocho aumenta en el aire disuelto en el océano.

Por medio de una teoría del fraccionamiento de los isótopos es posible calcular el factor de fraccionamiento; por ejemplo, sean

x = la profundidad en metros
c = concentración de los átomos de oxígeno a la profundidad x, en g. átomos/litro
V = volumen del agua oceánica
y = fracción de los átomos de oxígeno dieciocho en el aire disuelto en el océano a la profundidad x
y_B = fracción de los átomos de oxígeno dieciocho en el oxígeno consumido por los pescados, bacterias, etc. a la profundidad x
α = factor de fraccionamiento

$$\alpha = \frac{y_B}{y}$$

y sea un volumen de agua oceánica V, a la profundidad x, conteniendo oxígeno a la concentración c, y O^{18} a la concentración y transferido hasta la profundidad $(x + dx)$ donde la concentración de oxígeno es $(c - dc)$ y la abundancia relativa de O^{18} es $(y + dy)$, entonces:

O^{18} en volumen V a la profundidad x es igual a O^{18} en volumen a la profundidad $(x + dx)$ más O^{18} consumido por los pescados, etc., o

$$c \,.\, y \,.\, V = (c - dc)\,(y + dy)\,V + (c + dc - c)\,y_B \,.\, V \qquad [12]$$

o

$$(1 - \alpha)\,\frac{dc}{c} = \frac{dy}{dy} \qquad [13]$$

Por una integración entre c_1 y c_2,

$$(1 - \alpha)\,\ln\frac{c_1}{c_2} = \ln\frac{y_2}{y_1} \qquad [14]$$

Además, de la variación de log c con log y, es posible calcular $(1-\alpha)$ y α. Esta ecuación se ilustra en la figura 10 donde el declive de la línea recta es equivalente a α igual a 0.993. Este factor de fraccionamiento es razonable.

Referencias

(1) Alpher, R. A.; Bethe, H. A., and Gamov, G. A. — *Phys. Rev.* 1948, 73, 803. Alpher, R. A. — *Phys. Rev.* 1948, 74, 1577; *Amer. Scientist* 39, 393 (1951).
(2) Haar, D. ter. — *Science*, 1948, 107, 409.
(3) Oparin, A. I. — » The Origin of Lifer ». Mcmillan Co., New York, 1938.
(4) Tammann, G. — *Z. phys. Chem.* 110, 17 (1924).
(5) Poole, J. H. — *J. Proc. Roy. Soc. Dublin*, 22, 345 (1941).
(6) Dole, M. — *Science* 109, 77 (1949).
(7) Giauque, F. W., and Johnston, H. L.— *J. Am. Chem. Soc.* 51, 1436 (1929).
(8) Dole, M. — *J. Amer. Chem. Soc.* 57, 2731 (1935); *J. Chem. Phys.* 4, 268 (1936).
(9) Ruben, S.; Randall, M.; Kamen, M., y Hyed, J. L. — *J. Am. Chem. Soc.* 63, 877 (1941).
(10) Urey, H. C. — *J. Chem. Soc.* 1947, 562.
(11) Nier, A. O. — *Rev. Sci. Instruments* 18, 398 (1947).
(12) McKinney, C. R.; McCrea, J. M.; Epstein, S.; Alen, H. A., y Urey, H. C. — *Rev. Sci. Instruments*, 21, 724 (1950).

INDICE GENERAL

DE LAS MATERIAS CONTENIDAS EN EL TOMO CIENTO QUINCUAGÉSIMO SEXTO

Pág.

CARLOS RUSCONI. — Lista de agnóstidos e hiolites del Cámbrico de Mendoza 3

CELINA L. IACONIS y JORGE E. WRIGHT. — Estudios sobre Basidiomycetes. - Segunda parte: Descripción de las especies y cultivos (*Conclusión*) ... 10

PEDRO LONGHINI. — El estado de velocidad y la circunferencia de inflexión en el movimiento plano 25

JOSÉ LIEBERMANN. — El alotipo hembra de *Trybliophorus Modestus* Bruner (Orth, Acrid. Trybliophorini) con la descripción de un órgano desconocido en su séptimo esternito abdominal 34

LUIS R. MICCIO PERALTA. — Representación gráfica de la producción forrajiganadera de invernada, referida al partido de Pehuajó (Pcia. de Buenos Aires 50

EZIO LORENZELLI. — Fenómenos acústicos, ópticos o térmicos inducidos sobre un plano por la presencia de una superficie continua cualquiera que refleja un punto fuente de energía sonora o electromagnética 69

SECCIÓN CONFERENCIAS:

MALCOM DOLE. — El origen del oxígeno de la atmósfera y su composición isotópica ..... 53 y 88

NOTICIARIO 24

CALIDAD · SERVICIO · COOPERACION

COMPAÑIA ARGENTINA
DE CEMENTO PORTLAND

RECONQUISTA 46 (R. 2) BUENOS AIRES ● SARMIENTO 991 ROSARIO

Al PROYECTAR una obra

que requiera corriente de nuestras redes NO OLVIDE ASESORARSE PREVIAMENTE sobre nuestras posibilidades para el suministro de electricidad en el sitio en que ella se necesite.

CADE

COMPAÑIA DE SEGUROS DE VIDA
SUD AMERICA
Av. R. SAENZ PENA 530 - BUENOS AIRES

Seguros de vida en vigor.

$ 1.503.923.678 m/l.

Reservas Técnicas.

$ 183.489.696 m/l.

Pagados a Asegurados y Beneficiarios desde 1923.

$ 220.313.190 m/l.

CRISTALERIAS MAYBOGLAS

Sociedad de Responsabilidad Limitada
CAPITAL $ 1.000.000 m/n

•

MyB M. R.

ENVASES DE VIDRIO - TUBOS DE VIDRIO

Escritorio:
Cóndor 1625
T. E. 61-0212

Fábrica:
Tabaré 1630
T. E 61-1480

ARIENTI y MAISTERRA

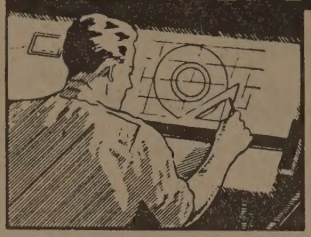
Soc. de Resp. Ltda. - Capital m$n 1.600.000

EMPRESA CONSTRUCTORA

CAÑOS DE HORMIGON

Av. VELEZ SARSFIELD 1851 - T. A. (21) 0075 - BUENOS AIRES

COPIAS DE PLANOS



PAPELES y TELAS
TRANSPARENTES
Material para dibujo

A. & M. CASASCO y CIA

Central: CORDOBA 1836 - Suc. RIVADAVIA 589 Bs. As. Rosario RIOJA 867

LIMA 461 — ALSINA 434

TALLERES
GRAFICOS

"TOMAS PALUMBO"

VIUDA DE PALUMBO E HIJOS

LA MADRID 311-325
21 - 1733 - Bs. AIRES

DISPONIBLE

ESSO

Dos símbolos de progreso

Como la rueda, que tanto contribuyó al progreso humano, el Ovalo Esso es, en su esfera, otro símbolo de adelanto. Es la identificación de miles de derivados del petróleo y de servicios que colaboran con la industria, los transportes, la agricultura y el hogar.

EN PETROLEO ESSO ES PROGRESO

FrancVal **José Franchini Ltda.**

CAPITAL $ 1.000.000.- m/n.

CARABELAS 2398 - AVELLANEDA - T. E. 22-4015

ALCOIL A S

NATURALEZA:
"alquil aril sulfonato sódico".

FORMULA QUIMICA:
C_{18} H_{29} SO_3Na (la molécula representada en el dibujo).

REACCION:
neutra.

ANALISIS QUIMICO: (a)

% ingrediente activo	24-26
% sales inorgánicas	< 6
% H20	68-70
Alcalinidad libre ($\%CO_3Na_2$)	≤ 0.5
% cenizas	<8

DATOS FISICO - QUIMICOS:
tensión superficial (solución 4‰): 31.7 dinas/cm.
p25 (b) : 0.5 ‰.

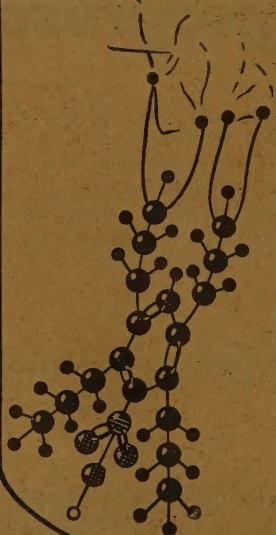
APARIENCIA: (c)
pasta gelatinosa, amarillento clara, soluble en las concentraciones normales de uso.

USO ESPECIFICO:
humectante para la industria textil.

OTROS USOS:
debido a sus propiedades detergente, mojante, penetrante, emulsificante, dispersante, reducción de tensión superficial, puede llenar diferentes necesidades de las industrias textiles, jaboneras, metalúrgicas, papeleras, curtiembres, pinturas, "agua mojada" (lucha contra incendios), insecticidas agrícolas y ganaderas, concentración de minerales por flotación, etc.

---

a) **INGREDIENTE ACTIVO:** La suma de: materia grasa total, SO_3 combinado, y Na combinado.
b) p25: ingrediente activo necesario (‰), para hundir la madeja en 25 seg. (ensayo de humectación Draves).
c) ALCOIL ASS 20 y ALCOIL ASB 20: son productos en polvo.



Sabía Vd.

que ya en 1931...

en un pequeño local elaborábamos las primeras partidas del humectante a base de alkilnaftalensulfonato sódico en un autoclave de tres litros, agitado a mano? Entre los modernos alquilaril de nuestra fabricación presentamos con orgullo:

ALCOIL AS